汉江中下游底栖动物群落结构特征研究

池仕运,陈 胜,汪红军,马沛明,胡菊香

(水利部中国科学院水工程生态研究所,水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室,武汉 430079)

摘要: 2011年7月(丰水期)、10月(平水期)和2012年4月(枯水期)对汉江中下游段底栖动物进行调查。共采集到底栖动物57种,隶属4门7纲15目31科,其中水生昆虫31种、寡毛类3种、软体动物13种、其他类群10种。常见种为钩虾(Gammaridae sp)、长臂虾种1(Palaemonidae sp1)、匙指虾(Atyidae sp)、苏氏尾鳃蚓(*Branchiura sowerbyi*)、梨形环棱螺(*Bellamya purificata*)、方格短沟蜷(*Semisulcospira cancellata*)和椭圆萝卜螺(*Radix swinhoei*)。检出物种数排序为枯水期>丰水期>平水期,中游段检出的物种数(50种)明显多于下游段(22种),中下游出现频率均大于30%的物种有方格短沟蜷、椭圆萝卜螺和长臂虾种1。汉江中、下游的底栖动物群落结构差异不显著($P=0.1423$),方格短沟蜷、长臂虾种1、梨形环棱螺、多足摇蚊、钩虾和匙指虾对中下游底栖动物群落结构差异的贡献率均超过5%,累计贡献率达57.55%。底栖动物群落结构组成上枯水期和丰水期($P=0.0961$)、枯水期和平水期($P=0.1261$)差异均不显著,丰水期和平水期差异达到显著水平($P=0.002$)。钩虾和方格短沟蜷对枯水期和丰水期之间底栖动物群落结构差异的贡献率超过10%,长臂虾种1、方格短沟蜷和栉水虱对枯水期和平水期以及丰水期和平水期之间底栖动物群落结构差异的贡献率均超过11%。底栖动物平均密度枯水期199.71个/m^2,丰水期168.45个/m^2,平水期160.71个/m^2;平均生物量平水期45.59 g/m^2,丰水期40.7981 g/m^2,枯水期37.0052 g/m^2。底栖动物的密度和生物量在各时期的差异均不显著($P>0.05$),但在空间分布上中游(丹江口-皇庄)高于下游(皇庄以下)($P=0.0813$)。Shannon-Wiener指数枯水期1.6121,丰水期1.5197,平水期0.7868,从中游往下,生物多样性逐渐降低。

关键词: 汉江中下游;底栖动物;群落结构

中图分类号: Q958.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2014)05-0082-09

汉江是长江中游最大的支流,位于其上的丹江口水库是南水北调中线工程的水源地,汉江中下游丹江口水库坝下至河口河段是受水库调度运行影响的主要区域。20世纪90年代以来,随着沿江城市国民经济的快速发展,汉江中下游河段频繁发生藻类"水华"事件(陈根祥等,2002;况琪军等,2000;孟春红和赵冰,2007;谢敏等,2006;谢平等,2004;殷大聪等,2012;郑凌凌等,2009),工农业废水和生活污水排放量的逐年增加导致该江段主要水质指标已接近水环境临界值(罗文辉等,2006)。学者针对汉江中下游水生态环境问题进行了广泛的研究,主要集中于水质和浮游生物类群(邓睿等,2010;况琪军等,2000;李修峰等,2005;李修峰等,2006;刘培刚等,1991;罗文辉等,2006;向贤芬等,2004;徐立等,2005;张思慧和朱重宁,2000)。关于底栖动物群落的研究方面,中国科学院水生生物研究所对丹江口水库库区做过建坝前的本底资料调查(E B波鲁茨基等,1959),刘培刚等(1991)、闫云君和李晓宇(2007a;2007b)对汉江不同江段及支流的底栖动物群落结构特征、生物多样性以及周年生产量进行过研究。

南水北调中线调水工程的运行将导致汉江中下游来水量大幅消减,给中下游河段的水生态环境带来一定程度的不利影响(张中旺,2006)。本研究于2011年7月至2012年4月在丰水期、平水期和枯水期对汉江中下游区域底栖动物进行系统的调查和研究,探讨底栖动物的群落结构特征及其与水环境的关系,旨在丰富该区域底栖动物资料,为评价南水北调中线工程对水生态的影响提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

汉江干流全长1 567 km,为亚热带季风气候区(邓兆仁,1981)。汉江干流中下游河道位于湖北省境内,上起丹江口大坝,下迄汉江与长江交汇处,河道长约652 km,流经丹江口、襄阳、钟祥、仙桃、汉

收稿日期: 2013-11-07

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201001001-03)。

通讯作者: 胡菊香,主要从事淡水生态学研究。E-mai: hujx@mail.ihe.ac.cn

作者简介: 池仕运,1979年生,男,硕士,助理研究员,主要从事淡水底栖动物生态学研究。E-mail: chishiyun@gmail.com

川,于武汉市汇入长江。丹江口大坝至碾盘山河段为汉江中游,河道长约 270 km,流域面积 4.68 万 km^2,平均比降 1.9%,其间较大的支流有南河和唐白河,分别在谷城县和襄阳市附近汇入;碾盘山至河口为下游,全长约 382 km,流域面积 1.70 万 km^2,平均比降为 0.9%,在泽口附近有东荆河分流进入长江。汉江干流中下游规划有丹江口、王甫洲、新集、崔家营、雅口、碾盘山和兴隆 7 级水利梯级枢纽,已建且投入使用的有丹江口(1973 年建成)、王甫洲(2000 年建成)和崔家营(2010 年建成)枢纽,枢纽附近的河段渠化较为严重。

1.2　采样站位和频次

根据汉江中下游河道现状,共设置 12 个站位,其中中游 8 个、下游 4 个,见表 1、图 1。分别于 2011 年 7 月(丰水期)、10 月(平水期)和 2012 年 4 月(枯水期)进行采样。

表 1　汉江中下游河段采样站位信息

Tab. 1　Information on sampling sites in the middle-lower reaches of Hanjiang River

河段	序号	采样站位	编码	底质类型	坐标
中游	1	丹江口坝下	DJKBX	卵石	N32.5°E111.5°
	2	王甫洲坝下	WFZBX	块石	N32.3°E111.7°
	3	回流湾	HLW	泥沙	N32.3°E111.7°
	4	茨河	CH	泥沙	N32.1°E112.0°
	5	唐白河(支流)	TBH	泥沙	N32.1°E112.3°
	6	余家湖	YJH	块石	N31.9°E112.2°
	7	雅口	YK	泥沙	N31.7°E112.4°
	8	皇庄	HZ	泥沙	N31.2°E112.5°
下游	9	沙洋	SY	泥沙	N30.7°E112.6°
	10	泽口	ZK	泥沙	N30.5°E112.9°
	11	脉旺	MW	泥沙	N30.5°E113.6°
	12	宗关	ZG	泥沙	N30.6°E114.2°

1.3　样品采集和处理

底栖动物样品采集:采用改良苏伯氏网(面积 0.1575 m^2,网目为 60 目)在河流浅滩或水深小于 1m 的浅岸带进行采集,每样点 2 ~ 4 个重复样合并成 1 个混合样。所采样品立即用河水淘洗干净后装入塑料袋中密封,带回室内进行分拣,放入标本瓶并加入 4% 的福尔马林液进行固定保存,运回实验室后镜检。

底栖动物标本鉴定:采用 Olympus CX41 显微镜和 Leica EZ4D 解剖镜鉴定物种。鉴定时,水生昆虫除摇蚊类鉴定到属外鉴定到科,寡毛类鉴定到科或属,软体动物鉴定到属或种,其他类群鉴定到门(Morse et al,1994;王洪铸,2002)。

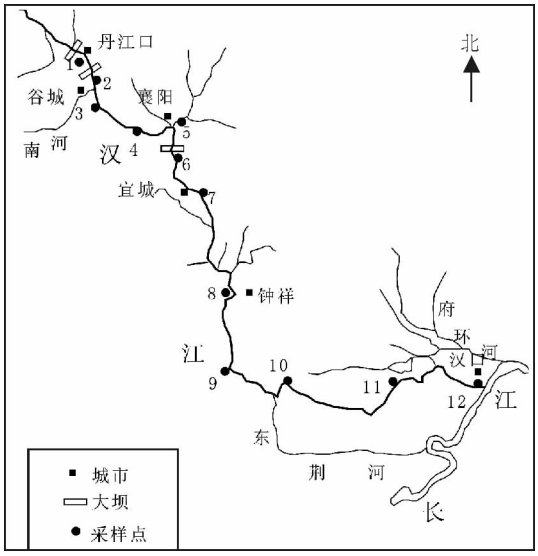


图 1　汉江中下游采样站位分布

Fig. 1　Distribution of sampling sites in the middle-lower reaches of the Hanjiang River

水质检测:在采集底栖动物样品的同时,用 Hach 便携式水质分析仪同步测定水温、溶氧和 pH,采集水质样品带回实验室测定水环境指标,包括总氮、总磷、硝氮、氨氮、可溶性磷酸盐和叶绿素 a 等,各指标的测定方法参照《水和废水监测分析方法》(魏复盛,2002)。

1.4　数据分析

采用基于 PAST 多元统计分析软件的极点排序(Bray-Curtis Ordination)模块对底栖动物群落进行空间排序;采用单因素相似性分析模块(One-Way ANOSIM)检验底栖动物群落时空分布的差异显著性;采用相似性百分比分析模块(SIMPER)找出对时空尺度上底栖动物群落结构差异贡献较大的物种;采用多样性指数模块计算 Shannon-wiener 指数。在进行多元统计分析前,将底栖动物数据矩阵按照站位进行百分比转换以消除采样努力量的差异对分析结果的影响(Hammer et al, 2001)。Spearman 检验和 Mann-Whitney 检验等基础统计分析采用 SPSS V 20.0 软件进行。

2　结果与分析

2.1　水质理化特征

水体理化因子测定结果见表 2。汉江中下游水温呈现丰水期 > 平水期 > 枯水期趋势,且枯水期和丰水期水温从中游至下游变幅最大。溶氧呈现枯水期 > 平水期 > 丰水期趋势,丰水期和平水期溶氧变幅较大;支流唐白河低至 3.90 mg/L,而回流湾高达

9.19 mg/L。pH 呈现枯水期 > 丰水期 > 平水期趋势,大部分站位 pH 值均在 8.0 以上。磷酸盐、亚硝酸盐和硝酸盐皆呈现平水期 > 丰水期 > 枯水期。氨氮呈现丰水期 > 枯水期 > 平水期趋势。总氮和总磷呈现平水期 > 枯水期 > 丰水期趋势。叶绿素含量呈现枯水期 > 平水期 > 丰水期趋势,处于枯水期的春季藻类生物量最高。经 Spearman 检验,叶绿素含量和溶氧水平呈显著正相关关系($R=0.8998$, $P=0.0211$)。从河流纵向分布上看,各项指标皆是中游稍好于下游。

表2 汉江中下游水质理化特征

Tab.2 Physical and chemical characteristics of water quality in the middle-lower reaches of Hanjiang River

指标	枯水期(2012年4月)		丰水期(2011年7月)		平水期(2011年10月)	
	平均/SD	范围	平均/SD	范围	平均/SD	范围
水温/℃	10.18/2.70	8.14~17.95	26.26/1.63	23.3~28.7	19.58/0.22	19.14~19.96
溶氧/mg·L^{-1}	8.29/0.31	7.62~8.76	7.11/1.17	3.90~9.19	7.42/0.79	6.21~9.43
pH	8.53/0.10	8.37~8.68	8.28/0.11	8.12~8.42	8.03/0.19	7.74~8.34
磷酸盐/mg·L^{-1}	0.0214/0.0314	0.0006~0.1161	0.0393/0.0086	0.0142~0.0457	0.0825/0.0712	0.032~0.2423
氨氮/mg·L^{-1}	0.4197/0.2251	0.234~1.0863	0.5268/0.1264	0.298~0.7159	0.4071/0.0543	0.3268~0.5002
硝酸盐/mg·L^{-1}	1.3898/0.3989	1.1508~2.6265	1.4473/0.1514	1.2197~1.8174	1.4852/0.4641	1.2135~2.6173
亚硝酸盐/mg·L^{-1}	0.0445/0.0782	0.0156~0.292	0.0587/0.1141	0.0053~0.4185	0.0637/0.0821	0.011~0.249
总氮/mg·L^{-1}	1.9255/0.6709	1.5654~4.0211	1.2472/0.3988	0.4556~2.0904	2.643/1.2581	0.8306~4.1668
总磷/mg·L^{-1}	0.0306/0.0352	0.0056~0.135	0.0233/0.0141	0.0128~0.0639	0.1012/0.0467	0.0593~0.1935
叶绿素/mg·L^{-1}	10.15/9.7489	1.524~31.5836	5.7761/5.9562	0.9748~21.9028	8.407/11.089	1.8525~34.9778

2.2 群落结构组成

调查期间共采集到底栖动物57种(表3),隶属于4门7纲15目31科,其中水生昆虫31种,寡毛类3种,软体动物13种,其他类群10种。常见种为钩虾(Gammaridae sp)、长臂虾种1(Palaemonidae sp1)、匙指虾(Atyidae sp)、苏氏尾鳃蚓(*Branchiura sowerbyi*)、梨形环棱螺(*Bellamya purificata*)、方格短沟蜷(*Semisulcospira cancellata*)和椭圆萝卜螺(*Radix swinhoei*)。

枯水期检出39种,其中水生昆虫18种,软体动物10种,寡毛类3种,其他类群8种;常见种为环足摇蚊(*Cricotopus* sp)、长臂虾种1、钩虾和方格短沟蜷。丰水期检出32种,其中水生昆虫16种,寡毛类1种,软体动物8种,其他类群7种;常见种为梨形环棱螺、椭圆萝卜螺、苏氏尾鳃蚓、匙指虾、多足摇蚊(*Polypedilum* sp)和长跗摇蚊(*Tanytarsus* sp)。平水期检出19种,其中水生昆虫5种,寡毛类1种,软体动物6种,其他类群7种;常见种为长臂虾种1、溪蟹(*Potamidae* sp)和方格短沟蜷。

表3 汉江中下游底栖动物名录

Tab.3 List of zoobenthos in the middle-lower reaches of Hanjiang River

类群	物种	枯水期(2012-04)	丰水期(2011-07)	平水期(2011-09)
软体动物	圆顶珠蚌 *Unio douglasiae*		+	
	钳形无齿蚌 *Anodneta arcaeformis*	+		
	河蚬 *Corbicula fluminea*	+	+	+
	淡水壳菜 *Limnoperna fortunei*	+	+	
	梨形环棱螺 *Bellamya purificata*	+	+	
	铜锈环棱螺 *Bellamya aeruginose*	+		+
	纹沼螺 *Parafossarulus striatalus*			+
	方格短沟蜷 *Semisulcospira cancellata*	+	+	+
	色带短沟蜷 *Semisulcospira mandarina*		+	+
	尖膀胱螺 *Physa acuta*	+	+	
	椭圆萝卜螺 *Radix swinhoei*	+	+	+
	耳萝卜螺 *Radix auricularia*	+		
	凸旋螺 *Gyraulus convexiusculus*	+		
环节动物	苏氏尾鳃蚓 *Branchiura sowerbyi*	+	+	+
	水丝蚓 *Limnodrilus* sp	+		
	带丝蚓 *Lumbriculidae* sp	+		
	石蛭 *Erpobdellidae* sp	+	+	
	舌蛭 *Glossiphoniidae* sp	+	+	

续表 3　Tab. 3　continued

类群	物　　种	枯水期(2012 - 04)	丰水期(2011 - 07)	平水期(2011 - 09)
水生昆虫	*Acamptocladius* sp	+		
	摇蚊蛹 Chironomidae pupa	+	+	
	寡角摇蚊 *Diamesa* sp	+		
	摇蚊 *Chironomus* sp		+	
	环足摇蚊 *Cricotopus* sp	+	+	
	隐摇蚊 *Cryptochironomus* sp		+	
	拟毛突摇蚊 *Paratrichocladius* sp	+		
	长跗摇蚊 *Tanytarsus* sp		+ +	
	斑特突摇蚊 *Thienemannimyia* sp		+	
	大蚊 Tipulidae sp		+	
	流水巴氏摇蚊 *Hydrobaenus* sp	+		
	开叉摇蚊 *Dicrotendipes* sp		+	
	直突摇蚊亚科一种 Orthocladiinae sp	+		
	真开氏摇蚊 *Eukiefferiella* sp	+		
	直突摇蚊 *Orthocladius* sp	+	+	
	流水长跗摇蚊 *Rheotanytarsus* sp	+	+	
	多足摇蚊 *Polypedilum* sp	+	+	+
	毛蠓 Psychodidae sp		+	
	长足虻 Dolichopodidae sp		+	
	蠓 Ceratopogonidae sp	+		
	水虻 Stratiomyidae sp		+	+
	虻 Tabanidae sp			+
	蝇 Muscidae sp	+		
	四节蜉 Baetidae sp	+		
	似动蜉 *Cinygmina* sp		+	
	尼克斯蜉 Nixe sp	+		
	划蝽 Corixidae sp1		+	
	划蝽 Corixidae sp2	+		
	负子蝽 Belostomatidae sp			+
	细蟌 Coenagrionidae sp		+	
	龙虱 Dytiscidae sp			+
其他类群	栉水虱 Asellidae sp	+	+	+
	匙指虾 Atyidae sp	+	+	+
	长臂虾种 1Palaemonidae sp1	+	+	+
	长臂虾种 2Palaemonidae sp2			+
	钩虾 Gammaridae sp	+	+	+
	溪蟹 Potamidae sp	+		+
	涡虫 Turbellaria sp	+	+	
	未定种 Unidentified species			+

整体来看,汉江中下游底栖动物种类组成中,水生昆虫是第 1 大类群(54.39%),其次是软体动物(22.81%),寡毛纲和其他类群所占比例较小。检出物种数排序为枯水期 > 丰水期 > 平水期(表 4)。中游段检出的物种数(50 种)明显高于下游段(22 种),中下游出现频率均大于 30% 的物种有方格短沟蜷、椭圆萝卜螺和长臂虾种 1。

表 4　底栖动物各类群不同时期组成比例　%

Tab. 4　Composition of zoobenthos taxa by sampling period

类群	枯水期	丰水期	平水期	调查周期内
水生昆虫	46.15	50	26.32	54.39
寡毛纲	7.69	3.13	5.26	5.26
软体动物	25.64	25	31.56	22.81
其他类群	20.51	21.87	36.84	17.55

2.3　现存量

底栖动物平均密度以枯水期最高,达到 199.71 个/m^2(3.17 ~ 806.35 个/m^2);其次是丰水期,168.45 个/m^2(57.14 ~ 330.16 个/m^2);最低为平水期,160.71 个/m^2(12.7 ~ 438.06 个/m^2)。平均生物量以平水期最高,达到45.59 g/m^2(0.3219 ~ 118.259 g/m^2);其次是丰水期,40.7981 g/m^2(0.5213 ~ 200.7344 g/m^2);最低为枯水期,

37.0052 g/m^2 (0.0019 ~ 225.3784 g/m^2)。经 Mann-Whitney 检验,底栖动物的密度和生物量在各时期的差异均不显著($P>0.05$),但在空间分布上呈现出中游(丹江口-皇庄)高于下游(皇庄以下)的趋势($P=0.0813$)(图2)。

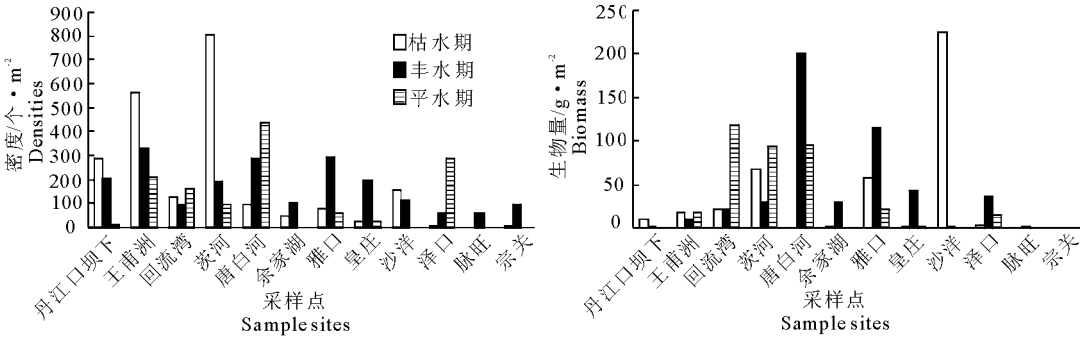


图2 汉江中下游底栖动物各站位现存量分布

Fig. 2 Densities & biomass of zoobenthos at each sampling site in the middle-lower reaches of Hanjiang River

2.4 空间分布和季节变化

汉江中下游底栖动物枯水期各站位物种数变动在1~13种。物种数最多的站位为丹江口坝下和王甫洲坝下,均为13种;其次为回流湾,12种;其他站位均不超过10种。丰水期各站位物种数变动在1~12种,物种数最多的站位为回流湾12种,其次是丹江口坝下11种,其他站位均不超过10种。平水期各站位物种数变动在1~8种,物种数最多的站位为回流湾8种,其次为茨河7种。经 Mann-Whitney 检验,各站位物种数在季节间的差异均未达到显著水平($P>0.05$)。综合3次的采样情况,汉江底栖动物物种数自中游以下呈现逐步递减趋势,中游段物种数明显多于下游段(图3)。

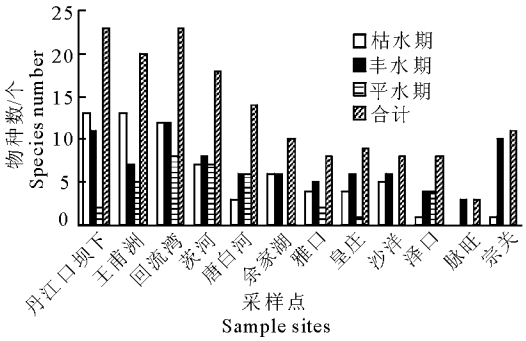


图3 汉江中下游各站点底栖动物物种数分布

Fig. 3 Species number of zoobenthos at each sampling site in the middle-lower reaches of the Hanjiang River

汉江中、下游的底栖动物群落结构差异不显著($P=0.1423$)。方格短沟蜷、长臂虾种1、梨形环棱螺、多足摇蚊、钩虾和匙指虾对中下游底栖动物群落结构差异的贡献率均超过5%,累计贡献率达57.55%(表5)。

极点排序结果显示,不同季节的同一站位在双序图上较为分离,表明底栖动物群落结构组成存在季节性差异(图4)。采用单因素相似性进行分析,显示底栖动物群落结构组成上枯水期和丰水期($P=0.0961$)、枯水期和平水期($P=0.1261$)差异均不显著,丰水期和平水期差异达到显著水平($P=0.002$)。相似性百分比分析表明,方格短沟蜷、梨形环棱螺、钩虾、长臂虾种1、多足摇蚊和栉水虱的种群季节动态变化是造成不同采样时期底栖动物群落结构差异的主要因素。其中,钩虾和方格短沟蜷对枯水期和丰水期之间底栖动物群落结构差异的贡献率超过10%,而长臂虾种1、方格短沟蜷和栉水虱对枯水期和平水期以及丰水期和平水期之间底栖动物群落结构差异的贡献率均超过11%(表6)。

表5 汉江中下游底栖动物群落结构差异贡献率 %

Tab. 5 Species with relative high contribution to the spatial variations of zoobenthos community structure in the middle-lower reaches of the Hanjiang River

物种	平均不相似度	贡献率	累计贡献率
方格短沟蜷 *Semisulcospira cancellata*	11.84	12.91	12.91
长臂虾种1 Palaemonidae sp1	11.65	12.7	25.61
梨形环棱螺 *Bellamya purificata*	9.753	10.63	36.25
多足摇蚊 *Polypedilum* sp	8.787	9.58	45.83
钩虾 Gammaridae sp	6.069	6.617	52.44
匙指虾 Atyidae sp	4.685	5.108	57.55

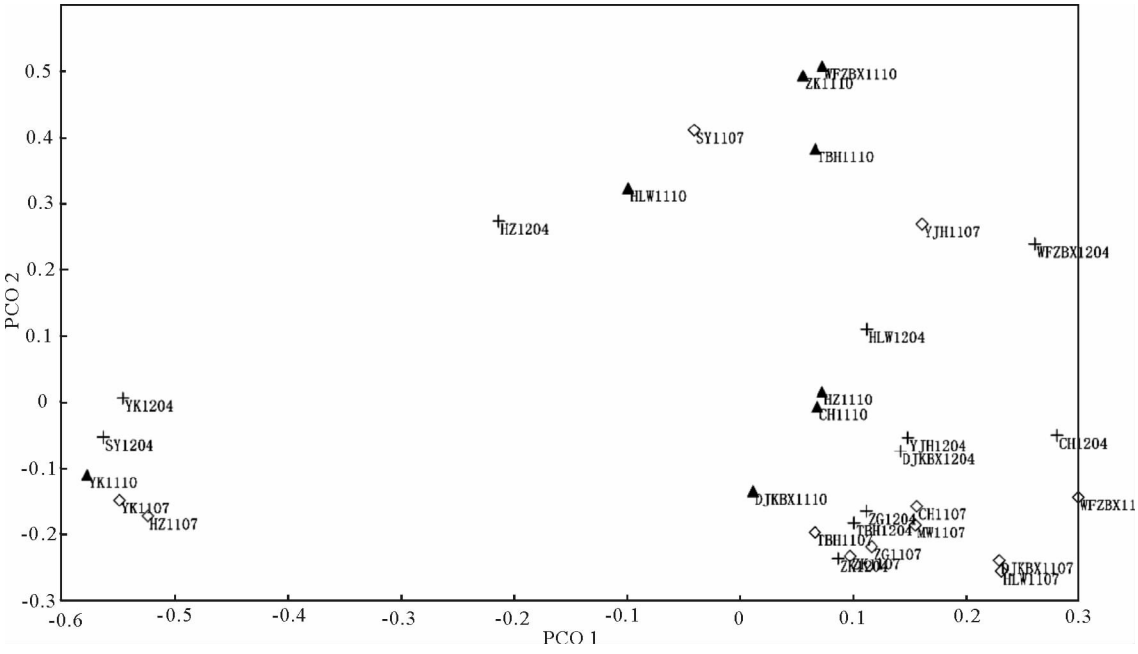
2.5 多样性分析

汉江中下游底栖动物 Shannon-Wiener 指数枯水期变动在0~3.3211,平均1.6121;丰水期变动在0~2.4308,平均1.5197;平水期变动在0~1.7839,平均0.7868。生物多样性呈现枯水期>丰水期>平水期的规律。从中游往下,生物多样性有逐渐降低的趋势(图5)。

表 6　汉江中下游不同采样时期底栖动物群落结构差异的贡献率　%

Tab. 6　Species with relative high contribution to the temporal variations of zoobenthos community structure in the middle-lower reaches of the Hanjiang River

物　　种	平均不相似度/贡献率		
	枯水期与丰水期	枯水期与平水期	丰水期与平水期
栉水虱 Asellidae sp	1.773/1.979	10.57/11.43	11.09/11.99
梨形环棱螺 *Bellamya purificata*	8.336/9.307	4.545/4.913	4.633/5.01
钩虾 Gammaridae sp	9.829/10.97	7.931/8.573	4.267/4.614
长臂虾种 1Palaemonidae sp1	5.239/5.849	15.25/16.48	15.66/16.93
多足摇蚊 Polypedilum sp	6.425/7.173	4.62/4.993	2.313/2.50
方格短沟蜷 *Semisulcospira cancellata*	12.72/14.2	12.69/13.72	12.12/13.10



站位编码后 1204 代表 2012 年 4 月(枯水期),1107 代表 2011 年 7 月(丰水期),1110 代表 2011 年 10 月(平水期)

图 4　汉江中下游底栖动物数据极点排序

1204 represents April 2012 (dry season), 1107 represents July 2011 (wet season) and 1110 represents October 2011(normal season)

Fig. 4　Biplot of Bray-Curtis Ordination based on zoobenthos data from the middle-lower reaches of the Hanjiang River

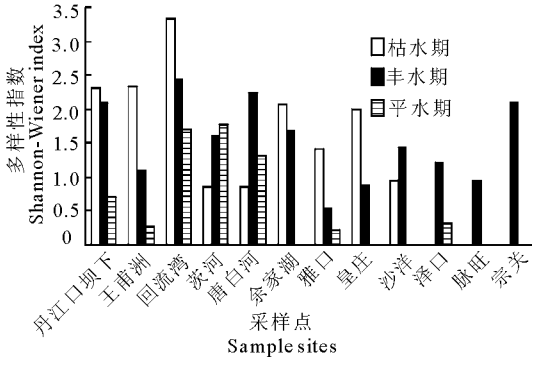


图 5　不同采样时期汉江中下游底栖动物多样性指数

Fig. 5　Biodiversities of zoobenthos community at different sampling sites in the middle-lower reaches of the Hanjiang River

3　讨论

3.1　底栖动物的时空分布特征与水环境

底栖动物具有活动范围相对固定、生命周期较长、生活习性相对稳定等特点,对水体污染胁迫的响应比较敏感,其群落时空分布会随着水质变化而变化(Barbour et al,1999)。汉江中下游点污染源主要来自沿江 19 个县市,废水中化学耗氧量、挥发酚、六价铬、砷、铅、石油类为主要污染物,面污染源则以农药、化肥及磷矿开采废渣为主(蒋固政和韩小波,1998)。已有研究表明汉江下游水质污染比上、中游严重,总磷、氨氮和高锰酸盐指数含量基本上呈现下游 > 中游 > 上游的趋势(张思慧和朱重宁,

2000)。浮游生物的监测结果也表明汉江下游江段的营养水平较中游高,水质较中游江段的差(况琪军等,2000;李修峰等,2005;向贤芬等,2004;徐立等,2005)。本调查中,水质现状也是中游好于下游。此外,汉江中下游底栖动物的物种数、生物多样性指数在空间分布上呈现从丹江口坝下至河口逐步递减的趋势,密度和生物量呈现出中游(丹江口-皇庄)高于下游(皇庄以下)的趋势。这与汉江水质污染自中游向下游逐步加重、水生态状况逐步恶化有一定关系,与水质和浮游生物的监测和评价结果基本一致。

3.2 与汉江流域历史资料对比

汉江底栖动物的文献记录可以追溯到1959年丹江口水库建库前。1959年对汉江丹江口库区段的调查(E B 波鲁茨基等,1959)表明,蜉蝣稚虫、襀翅目稚虫和毛翅目稚虫较为常见,当时汉江水深流急,栖居在底质上的底栖动物现存量较低,水生昆虫类群通常通过漂流的方式寻找合适的栖息环境。20世纪90年代,对汉江武汉段的调查仍发现钩虾、多距石蛾、纹石蛾等喜急流清洁种为常见种(刘培刚等,1991),汉江中下游优势种中包括扁泥甲和长角泥甲等山区性河流常见种,物种有33种①。2003和2004年对汉江中下游的调查,常见种已经变成淡水壳菜、水丝蚓、苏氏尾鳃蚓、河蚬、方格短沟蜷、长跗摇蚊和多足摇蚊,物种数在18~24种②③,其中苏氏尾鳃蚓、水丝蚓和多足摇蚊为耐污种类。

本研究共检出底栖动物57种,多于历次调查的物种数。由于梯级水库的兴建和水污染的加剧,蜉蝣目稚虫已不常见,苏氏尾鳃蚓依然是汉江中下游段的常见种,软体动物中的梨形环棱螺、方格短沟蜷和椭圆萝卜螺也成为常见种,但钩虾、多距石蛾、纹石蛾等喜急流清洁种在下游江段未检测到。与水生态状态良好、水文情势和生境改变较小的汉江支流黑竹冲河(闫云君和李晓宇,2007b)和清塘河(汪兴中等, 2009)相比,本研究中汉江中下游底栖动物优势类群组成与支流差异较大,物种数和密度也远小于支流;但生物量接近甚至超过支流,主要是因为个体较大的软体动物所占比例高达28.07%,而个体较小的水生昆虫比例只有19.07%。

3.3 汉江中下游底栖动物的演替特点

汉江中下游底栖动物物种数和生物多样性指数呈现出枯水期>丰水期>平水期的趋势,这与枯水期和丰水期时节水生昆虫特别是摇蚊类大量滋生有一定关系。平水期摇蚊类物种数锐减,这可能与该时节摇蚊类大量羽化有一定关系。如枯水期摇蚊物种数为1.8种/站,占数量的13.07%;丰水期为1.7种/站,占数量的23.12%;而平水期时仅为0.1种/站,只占数量的1.12%。

汉江中下游底栖动物密度和生物量在各时期的差异均不显著($P>0.05$),但群落结构组成在不同河段(中游和下游)、不同采样时期间的差异较大,这与方格短沟蜷、梨形环棱螺、钩虾、长臂虾种1、多足摇蚊的种群动态变化有关。方格短沟蜷在汉江中游段的回流湾、雅口、皇庄一带较为常见,密度比例均达到10%以上,其中雅口和皇庄站位在丰水期的数量百分比分别为87.23%和77.42%,密度分别为260.32和152.38个/m^2。方格短沟蜷喜水流较缓,水质清澈,水草丰茂,沙底、泥沙底或泥底的环境(齐钟彦,1998),这表明雅口和皇庄一带受上游崔家营水利枢纽清水下泻的影响较大,同时上游来水量较小,导致该区域水流较缓,水草生长茂盛,对方格短沟蜷的生长繁殖较为有利。

汉江中下游底栖动物优势种的演替在一定程度上反映了河流的开发进程对水生态环境的影响。20世纪90年代初,丹江口水库以下的2个梯级枢纽尚未建成,钩虾是汉江下游武汉江段的优势种,这反映出汉江水流较急的水文特征(刘培刚等,1991)。2010年以后,汉江中下游的3个梯级皆投产运行,钩虾只在3个梯级水库的坝下江段较为常见,丹江口坝下、王甫洲坝下和崔家营坝下(余家湖)平均密度比例分别达到3.27%、38.10%和15.63%,而同期在汉江下游段则未检测到。这表明大坝下游由于水库泄水导致江水流速较快,较适合钩虾等喜流性物种的生存,而汉江下游水流已变缓,再加上水环境质量较20世纪90年代(水质为地表水II类标准)下降幅度较大,导致该江段原有的优势种钩虾、多距石蛾和纹石蛾等物种消亡或沦为稀有种(刘培刚等,1991)。

参考文献

陈根祥, 胡高平, 张德兵. 2002. 汉江发生"水华"的水文因素[J]. 长江职工大学学报, 19(1):57-58.

① 长江水产研究所. 1994. 南水北调中线工程环境影响复核评价.

② 长江水产研究所. 2003. 兴隆水利枢纽对水生生物影响评价.

③ 水利部中国科学院水工程生态研究所. 2004. 南水北调中线一期工程对汉江中下游鱼类资源影响及保护技术专题研究报告.

邓睿, 川页, 李欢欢. 2010. 水环境现状与污染防治分析 – – 以汉江襄樊段为例[J]. 农村经济与科技, 21(2):9 – 11.

邓兆仁, 1981. 汉江流域水文地理[J]. 华中师院学报:自然科学版,(4):110 – 118.

蒋固政, 韩小波. 1998. 汉江中下游干流梯级开发的环境影响分析[J]. 环境科学与技术, 83(4):14 – 16.

况琪军, 谭渝云, 万登榜, 等. 2000. 汉江中下游江段藻类现状调查及"水华"成因分析[J]. 长江流域资源与环境, 9(1):63 – 70.

李修峰, 常秀岭, 谢文星, 等. 2005. 汉江中游秋季浮游植物的初步研究[J]. 水利渔业, 25(4):67 – 69.

李修峰, 黄道明, 谢文星, 等. 2006. 汉江中游秋季浮游动物的初步研究[J]. 水利渔业, 26(2):56 – 59.

刘培刚, 卢大远, 徐训扬. 1991. 汉江下游武汉段水环境与水生生物相关性研究[J]. 鹤城环境, (3):1 – 2.

罗文辉, 张士君, 柳慧勇. 2006. 汉江中下游干流的水质变化趋势分析及污染防治对策[J]. 水利水电快报, 27(20):6 – 8.

孟春红, 赵冰. 2007. 汉江水质污染分析与治理措施[J]. 人民长江, 38(1):86 – 88.

齐钟彦. 1998. 中国经济软体动物[M]. 北京:中国农业出版社.

汪兴中, 蔡庆华, 李凤清, 等. 2009. 南水北调中线水源区溪流大型底栖动物群落结构的时空动态[J]. 应用与环境生物学报, 15(6):803 – 807.

王洪铸. 2002. 中国小蚓类研究——附中国南极长城站附近地区两新种[M]. 北京: 高等教育出版社.

魏复盛. 2002. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社:四版.

向贤芬, 陈受忠, 曹文宣. 2004. 汉江中下游春季浮游甲壳动物群落结构的空间差异[J]. 长江流域资源与环境, 13(2):187 – 192.

谢敏, 王新才, 管光明. 2006. 汉江中下游"水华"成因分析及其对策初探[J]. 人民长江, 37(8):43 – 45.

谢平, 夏军, 窦明, 等. 2004. 南水北调中线工程对汉江中下游水华的影响及对策研究(I)——汉江水华发生的关键因子分析[J]. 自然资源学报, 19(4):418 – 423.

徐立, 徐顺清, 孙芳, 等. 2005. 汉江武汉段浮游藻类动态监测与水质评价[J]. 中国卫生检验杂志, 15(11):1349 – 1350.

闫云君, 李晓宇. 2007a. 汉江流域黑竹冲河部分优势大型底栖动物的周年生产量[J]. 水生生物学报, 31(3):297 – 306.

闫云君, 李晓宇. 2007b. 汉江流域上游支流大型底栖动物群落结构特征与生物多样性[J]. 湖泊科学, 19(5):585 – 591.

殷大聪, 黄薇, 吴兴华, 等. 2012. 汉江水华硅藻生物学特性初步研究[J]. 长江科学院院报, 29(2):6 – 10.

张思慧, 朱重宁. 2000. 汉江水污染现状分析[J]. 环境科学与技术, 92(4):30 – 31.

张中旺. 2006. 南水北调中线工程对襄樊市的影响与对策[J]. 统计与决策, (21): 109 – 111.

郑凌凌, 宋立荣, 吴兴华, 等. 2009. 汉江硅藻水华优势种的形态及 18SrDNA 序列分析[J]. 水生生物学报, 33(3):562 – 564.

E B 波鲁茨基, 伍献文, 白国栋, 等. 1959. 丹江口水库库区水生生物调查和渔业利用的意见[J]. 水生生物学集刊, (1):33 – 56.

Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, et al. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish: second edition [M]. Washington D C:U S Environmental Protection Agency, Office of Water.

Hammer, D A T Harper , P D Ryan, 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis[J]. Palaeontologia Electronica, 4(1):1 – 9.

Morse J C, Yang L, Tian L. 1994. Aquatic insects of china useful for monitoring water quality [M]. Nanjing:Hohai University Press.

(责任编辑　张俊友)

Zoobenthos Communities in the Middle and Lower Reaches of the Hanjiang River

CHI Shi-yun, CHEN Shen, WANG Hong-jun, MA Pei-ming, HU Ju-xiang

(Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences. Wuhan 430079, P. R. China)

Abstract: Danjiangkou Reservoir on the Hanjiang River is the source of water for the middle section of the South-North Water Diversion Project. Operation of the water diversion project reduces water inflow to the middle and lower reaches of the Hanjiang River, adversely affecting the aquatic ecology of the middle-lower reaches of the Hanjiang River (from the dam at Danjiangkou Reservoir to the confluence of the Hanjiang River with the Yangtze River, extending -650 km). In this study, the community structure of zoobenthos in the middle-lower reaches of the Hanjiang River was characterized. Results expand the zoobenthos data available for this section of the Hanjiang River and provide information necessary to assess the ecological impact of the middle section of south-north water diversion project. Fieldwork was carried out at 12 sites (depth < 1 m) on the Hanjiang River during the wet season (July 2011), the normal season (October, 2011) and the dry season (April, 2012). Zoobenthos samples were collected with a grab sampler (sample area = 0.1575 m^2, two or four replicates) and the sieved samples were fixed in 4% formaldehyde solution for identification. A total of 57 species from 4 phyla, 7 classes, 15 orders and 31 families were identified, including 31 species of aquatic insects, 3 oligochaetes, 13 mollusks and 10 species of other faunas. Among these species, the most commonly encountered were Gammaridae sp., Palaemonidae sp. 1, Atyidae sp., *Branchiura sowerbyi*, *Bellamya purificata*, *Semisulcospira cancellata* and *Radix swinhoei*. Species diversity was the highest in April and the lowest in October. Species diversity (50 species) in the middle reaches was clearly higher than in the lower reaches (22 species), with > 30% occurrence frequency for *Semisulcospira cancellata*, *Radix swinhoei* and Palaemonidae sp. in both the middle and lower reaches of the Hanjiang River. The spatial variation of the zoobenthos community structure between the middle and the lower reaches was not significant ($P = 0.1423$). However, *Semisulcospira cancellata*, Palaemonidae sp. 1, *Bellamya purificata*, *Polypedilum* sp., Gammaridae sp. and Atyidae sp. contributed more than 5% to community differences in the middle and lower reaches and the cumulative contribution of these species was 57.55%. The temporal variation of community structure between dry season and wet season ($P = 0.0961$), between dry season and normal season ($P = 0.1261$) was not significant, while the differences between wet season and normal season were significant ($P = 0.002$). Gammaridae sp. and *Semisulcospira cancellata* contributed >10% to the differences in community structure between dry season and wet season, while the contributions of Palaemonidae sp. 1, Semisulcospira cancellata and Atyidae sp. were >11% between dry season and normal season, and between wet season and normal season. The average density of zoobenthos in dry season, wet season, and normal season were 199.71 ind/m^2, 168.45 ind/m^2 and 160.71 ind/m^2, and the biomass was 37.0052 g/m^2, 40.7981 g/m^2 and 45.59 g/m^2 respectively. No significant temporal differences were found in the sampling stations ($P > 0.05$), while the densities and biomass in the middle reaches (Danjiangkou-Huangzhuang) were higher than those of the lower reaches (below Huangzhuang) ($P = 0.0813$). The Shannon-Wiener indices were 1.6121 in dry season, 1.5197 in wet season and 0.7868 in normal season, gradually decreasing from the middle reaches to the low reaches and is related to the continuously declining water quality from the middle to lower reaches of the Hanjiang River. The succession of the zoobenthos community structure in the middle-lower reaches basically reflects the influence of development on the aquatic ecology of the river.

Keywords: middle-lower reaches of the Hanjiang River; zoobenthos; community structure